

(株)神戸製鋼所

正員

守 國夫

“

正員

○ 中沖 耕造

“

正員

波田 凱夫

1 まえがき

サンドイッチ鋼床版は、構造的にやや複雑な断面形状となっているため、従来の鋼床版に比べてさらに局部応力を明らかにしておく必要がある。したがって応力解析にあたって、異方性板理論だけでは不十分であり、また局部応力に固執して有限要素法で厳密解を求めても計算容量がナくなり、設計に対して実用的でないということも考えられる。そこで、本報ではサンドイッチ鋼床版のように複雑な断面形状を有する構造体に対する計算法として伝達マトリックスによる解法を適用し、あわせて実験との比較検討を行なった。

2 計算法

次の三つを仮定した。

- (1) 板厚方向の直応力は無視する。
- (2) 板の中央平面の法線にある全ての点は変形後も変わらない。
- (3) 変形は板厚に比べて小さい。

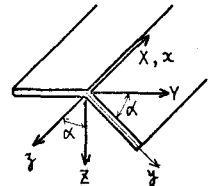


図-1 座標系

スパン中央断面において座標系は図-1に示すように右手系とする。合力は図-2に示す。また、スパン方向の支持条件は二辺単純支持とする。

未知数のとりかたとして、まず面外力に対しては $W, q_x, q_y, Q_x, Q_y, M_x, M_y, M_{xy}$ の8個を選び、次式のような級数形であらわされるものとする。

$$\left. \begin{aligned} W &= \sum_m W_m \sin K_m X + \sum_n W_n \cos K_n X, & Q_y &= \sum_m Q_{ym} \sin K_m X + \sum_n Q_{yn} \cos K_n X \\ q_x &= -\sum_m q_{xm} \cos K_m X + \sum_n q_{xn} \sin K_n X, & M_x &= \sum_m M_{xm} \sin K_m X + \sum_n M_{xn} \cos K_n X \\ q_y &= -\sum_m q_{ym} \sin K_m X + \sum_n q_{yn} \cos K_n X, & M_y &= \sum_m M_{ym} \sin K_m X + \sum_n M_{yn} \cos K_n X \\ Q_x &= -\sum_m Q_{xm} \cos K_m X + \sum_n Q_{xn} \sin K_n X, & M_{xy} &= -\sum_m M_{ym} \cos K_m X + \sum_n M_{yn} \sin K_n X \end{aligned} \right\} (1)$$

$$m = 2, 4, 6, \dots, \quad n = 1, 3, 5, \dots, \quad K_m = \frac{\pi \cdot m}{2a}, \quad K_n = \frac{\pi \cdot n}{2a}$$

ここに W は鉛直たわみ、 q はたわみ角、 Q はせん断力、 M はモーメント、 $2a$ はスパン長である。

同様に面内力に対しては、 $u, v, \gamma_{xy}, N_x, N_y, N_{xy}$ の6個の未知数を選び、次式のようにあらわされるものとする。

$$\left. \begin{aligned} u &= u_0 - \sum_m u_m \cos K_m X + \sum_n u_n \sin K_n X, & N_x &= \sum_m N_{xm} \sin K_m X + \sum_n N_{xn} \cos K_n X \\ v &= \sum_m v_m \sin K_m X + \sum_n v_n \cos K_n X, & N_y &= \sum_m N_{ym} \sin K_m X + \sum_n N_{yn} \cos K_n X \\ \gamma_{xy} &= \gamma_{xy0} - \sum_m \gamma_{xm} \cos K_m X + \sum_n \gamma_{xn} \sin K_n X, & N_{xy} &= N_{xy0} - \sum_m N_{ym} \cos K_m X + \sum_n N_{yn} \sin K_n X \end{aligned} \right\} (2)$$

ここに u, v はそれぞれ x, y 方向の変位、 γ はせん断ひずみ、 N は軸力である。さて、(1)式で y 軸に関する対称性を利用すると次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} q_{xm} &= K_n W_n \\ Q_{xm} &= -DK_n^3(1-\nu)W_n + K_n M_{yn} \\ M_{xm} &= DK_n^3(1-\nu^2)W_n - \nu M_{yn} \\ M_{xym} &= -D(1-\nu)K_n q_{yn} \end{aligned} \right\} (3)$$

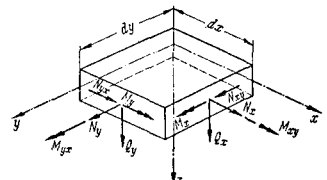


図-2 合力

ここに D は版剛度, ν はポアソン比である。

(3) 式をまとめると次式のようにになる。

$$\mathbf{Z}_{Pn} = [u_n, \varphi_n, \varphi_n, M_n]^T \quad (4)$$

さらに(4)式を y で微分すると次式のようになる。

$$\mathbf{Z}_{Pn}' = \begin{bmatrix} u_n' \\ \varphi_n' \\ \varphi_n' \\ M_n' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -K_n^* & 0 & 0 & \frac{1}{b} \\ D(1-\nu)K_n^* & 0 & 0 & -K_n^* \\ 0 & 2D\nu K_n^*(1-\nu) & -1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{Z}_{Pn} = \mathbf{A}_{Pn} \cdot \mathbf{Z}_{Pn} \quad (5)$$

ここに $\cdot$ は $\frac{d}{dy}$ である。部材に荷重が負荷している場合, 荷重項を $\mathbf{B}_{Pn}$ とすると(5)式は次式のようになる。

$$\mathbf{Z}_{Pn}' = \mathbf{A}_{Pn} \cdot \mathbf{Z}_{Pn} + \mathbf{B}_{Pn}$$

上式を解くと, 部材の伝達方程式が次式のように表わされる。

$$\mathbf{Z}_{Pn} = \mathbf{P}_{Pn} \cdot \mathbf{Z}_{Pn0} + (\mathbf{P}_{Pn} - \mathbf{E}) \cdot \mathbf{A}_{Pn}^{-1} \cdot \mathbf{B}_{Pn}$$

ここに $\mathbf{P}_{Pn} = \exp(\mathbf{A}_{Pn} \cdot y)$, $\mathbf{Z}_{Pn0}$ は $y=0$ における $\mathbf{Z}_{Pn}$, $\mathbf{E}$ は単位マトリックスである。

同様にして, 面内力に対しては部材の伝達方程式を導ける。

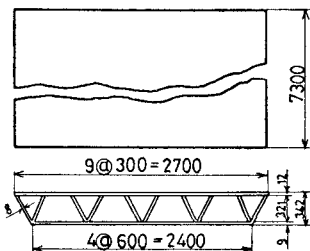


図-3 供試体

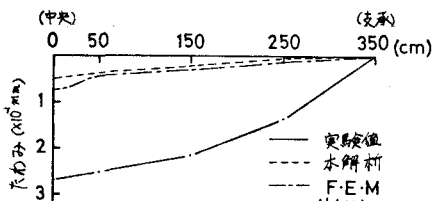


図-4(a) たわみ分布図(X方向)

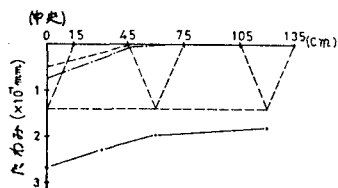


図-4(b) たわみ分布図(Y方向)

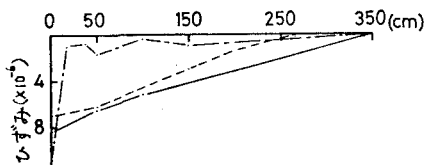


図-5(a) ひずみ分布図(X方向)

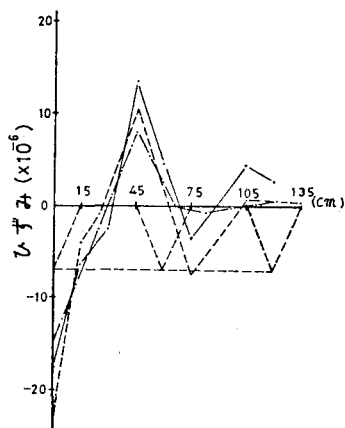


図-5(b) ひずみ分布図(Y方向)

3 計算値と実験値の比較

供試体は図-3に示すようにスパン m , 幅 $2.7m$ のサンドイッチ床版で心材方向の辺を自由, 心材直交方向の辺を単純支持として, 輪荷重に相当する分布荷重を床版中央に負荷した。計算値と実験値を比較すると, たわみについては図-4, ひずみについては図-5のようになる。伝達マトリックスによる解析では, 節点数26個, 級数項3の項とした。また図には, 有限要素法(節点数190個)による計算値を併記した。その結果, (1)たわみは, 両者の計算値とも実験値に比べるとかなりの差がある。(2)X方向のひずみについては, 本解析値が有限要素法の値よりも実験値に近い。(3)Y方向のひずみについては, 両者の計算値とも実験値に近い。

4 考察

図-5(b)に示すように, サンドイッチ鋼床版は載荷板近傍の上面板と心材との結合線(上面板)において, Y方向に大きな引張応力が生じ, そこから離れるにしたがって急激に応力が減少する。この床版はいわゆる直交異性版の性状を示さず, V型心材がX方向に支持された単純梁の群を構成し, 上下面板がそれらの梁を弾性支承とする連続版であると考えられる。また, 本解析は, このサンドイッチ鋼床版に対する解析手法として, かなり期待できると考えられる。

[※]B. Dobovisek "Berechnung prismatischen Schalen" Der Bauingenieur, 1972, Heft 11